

核種の崩壊・生成計算における数密度の簡易予測モデルの開発

Development of a simple prediction model for number density in nuclide transmutation calculation

*増田純希¹, 千葉 豪¹

¹ 北大

全核種を考慮したチェーンと低次元チェーンでの計算結果に基づいて作成した POD 基底を用い、低次元チェーンでの計算結果からチェーンで考慮していない核種の数密度を予測する手法を開発した。

キーワード：低次元チェーン、POD、核種の崩壊・生成計算

1. 背景・目的 核燃料には多数の核種が含まれ、原子炉の炉心設計や安全解析などにおいてそれら全核種の数密度の時間変化を評価することが理想的である。しかし実際には考慮すべき燃料媒質数が大きくそのような評価は現実的ではない。そこで一般的には評価対象とする特性に影響を与える核種を抽出し影響が小さい核種を省いた低次元チェーンを用いて数密度の評価を行う。本研究では、固有直交分解(POD)を使い、低次元チェーンを用いた計算の結果からチェーンに含まれていない核種の数密度を予測するモデルを開発する。

2. 手法 核種群の時間点ごとの数密度変化を、(核種数×時間点数)の数密度行列と定義し、低次元チェーンで考慮されている核種群、考慮されていない核種群をそれぞれグループ A、B とする。全核種を考慮したチェーンでの計算により数密度 $\mathbf{n}(t)$ 、低次元チェーンでの計算により数密度 $\hat{\mathbf{n}}(t)$ が得られたとき、グループ A の数密度を $\hat{\mathbf{n}}(t)$ の値、グループ B の数密度を $\mathbf{n}(t)$ の値に係数 f (極めて小さい値) を乗じたものとして数密度行列 $\mathbf{N}$ を構築し、この $\mathbf{N}$ に対し特異値分解を行い POD 基底ベクトルを求める。次に、低次元チェーンでの計算で複数の時間点でのグループ A の数密度が得られた際に、グループ B の数密度を予測することを考える。グループ A の数密度を計算結果とし、グループ B の数密度を 0 とした数密度行列 $\hat{\mathbf{N}}$ を作成し、 $\hat{\mathbf{N}}$ の列ベクトルを少数の POD 基底ベクトルが張る空間に射影する。例えば、 J 個の POD 基底ベクトルのセットを $\mathcal{S} = \{\mathbf{u}_1, \mathbf{u}_2, \dots, \mathbf{u}_J\}$ として、これが張る空間に $\hat{\mathbf{N}}$ の列ベクトルを射影したとすれば、 $\mathbf{U}_J = (\mathbf{u}_1 \mathbf{u}_2 \dots \mathbf{u}_J)$ とすると、まとめて $\mathbf{U}_J \mathbf{U}_J^T \hat{\mathbf{N}}$ と書ける。このようにして得られたグループ B の数密度を f で除することで最終的な推定結果を得る。POD 基底空間の次元数 J を大きくするに従いグループ B の数密度の予測値はゼロとなるが、行列 $\hat{\mathbf{N}}$ の特異値の分布から推定される適切な次元数で射影を行うことにより、精度の高い推定が期待できる。

3. 結果 U-235 の瞬時核分裂後の 1,400 核種の数密度変化に対して検討を行った。低次元チェーンは燃焼中の反応度に影響及ぼす 138 核種で構成されるものとした。行列 $\hat{\mathbf{N}}$ の特異値の分布から推定された適切な次元数 100 を用いた場合、9 割以上の核種の数密度について良好な予測が行えた。良好な予測が行えた例として Sr-90、比較的大きい誤差が見られた例として Zr-101 の数密度変化を図 1、図 2 に示す。

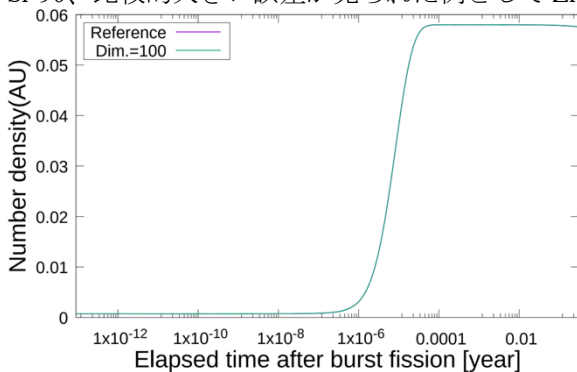


図 1 Sr-90 の数密度の時間変化

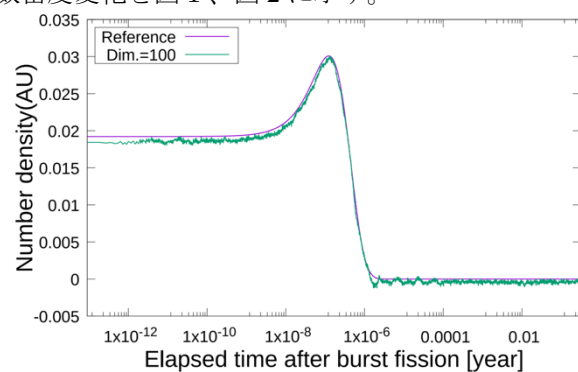


図 2 Zr-101 の数密度の時間変化

* Junki Masuda¹, Go Chiba¹

¹ Hokkaido University